

2026年 7月 6日

報道関係者各位

国立大学法人 奈良先端科学技術大学院大学

薄い殻（シェル）のように力を支える細胞構造を明らかに ～細胞の硬さと内部圧力の同時評価に成功～

【概要】

奈良先端科学技術大学院大学（学長：塩崎一裕）先端科学技術研究科の細川陽一郎教授、釣優香助教らの研究グループは、細胞壁（注1）を持たない動物細胞の中にも、薄い殻（シェル）のように力を支える細胞が存在することを明らかにしました。さらに、この性質を利用することで、細胞の硬さと細胞内部から働く圧力（内部圧力）を同時に評価することに成功しました。

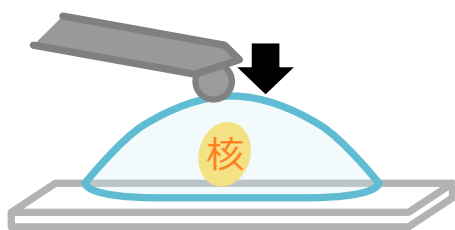
細胞壁を持たない動物細胞は、何によってその形を保ち、力に耐えているのでしょうか。植物細胞では、細胞壁が内側から働く圧力を支えることで、その形が維持されています。私たちの体をつくる動物細胞も、形を保ちながら移動し、分裂し、周囲から受ける力に応答しています。しかし、動物細胞には植物細胞のような細胞壁がありません。そのため、どのような構造がその力学的な性質を支えているのかはよく分かっていませんでした。

細胞の硬さや内部の張力といった機械的特性は、細胞の移動や分裂、分化など多くの生命現象に関わっています。しかし、細胞は細胞膜（注2）や細胞骨格（注3）、細胞内部構造からなる複雑で不均一な構造を持つため、従来の方法では均一な柔らかい物体として扱わざるを得ませんでした。

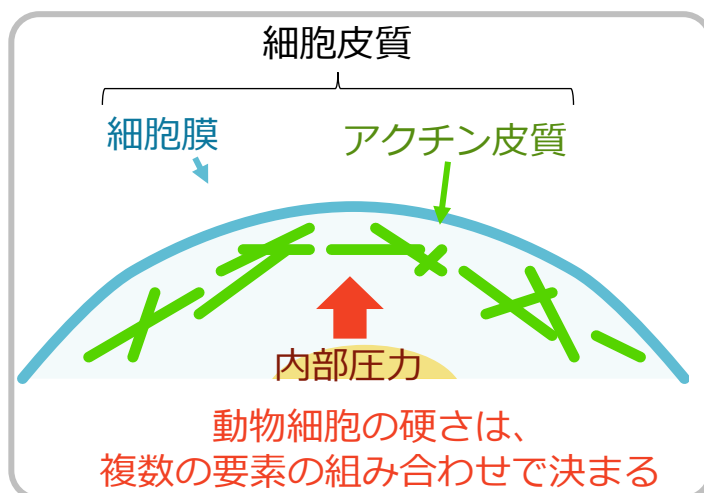
研究グループは、この問題に対し、植物細胞の解析に用いられてきた弾性シェル理論(Elastic Shell Theory: EST、注4)に着目しました。植物細胞では、シェルとして働く細胞壁の硬さと細胞内圧力を同時に評価できます。そこで研究グループは、動物細胞でもシェル理論が成立するのかを調べるため、原子間力顕微鏡 (AFM: Atomic Force Microscope、注5) を用いて、細胞の形状（ふくらみ）と力学応答（しなり）を同時に計測しました（図1）。

本研究成果は、Cell Press 社刊行の学術誌 Biophysical Journal に 2026年6月8日（月）に公開されました (DOI: 10.1016/j.bpj.2026.06.009)。

これまでの研究

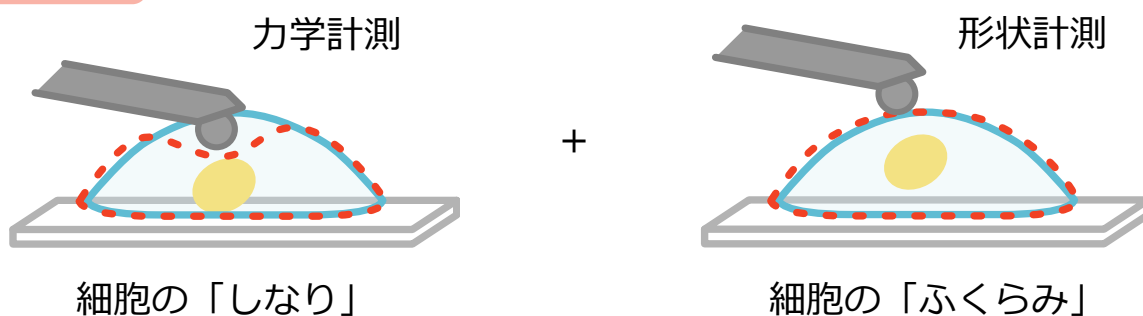


細胞におしつけたAFM探針の曲がりから**細胞の硬さ（弾性率）**を測定



本研究

形状計測と力学計測を組み合わせ、弾性シェル理論で解析



細胞皮質の硬さ（細胞皮質の弾性） と **内部圧力（細胞内から押し広げる力）** を同時計測

図1 本研究の概略図

【背景と目的】

私たちはしばしば細胞を「硬い」「柔らかい」と表現します。しかし、細胞はゴムボールのような均一な物体ではありません。細胞膜や細胞骨格、細胞内部構造などから構成される複雑な構造を持っています。そのため、同じ「硬い細胞」であっても、その理由はさまざまです。細胞骨格が発達している場合もあれば、細胞内部から働く力が大きい場合もあります。しかし従来の細胞力学評価では、細胞を均一な柔らかい物体として扱うことが一般的であり、測定された硬さが何に由来するのかを理解することは容易ではありませんでした。

細胞の機械的特性は、細胞の移動や分裂、分化など多くの生命現象に関わっています。そのため、細胞の力学特性を正しく理解することは、生命現象を理解するうえで重要な課題となっています。

【研究の内容】

研究グループは、複数の動物細胞について、細胞の形状と力学応答を詳細に解析しました。その結果、細胞壁を持たない動物細胞の中にも、薄い殻（シェル）のように力を支える細胞が存在することを発見しました。これは、複雑で不均一な構造を持つ動物細胞の中にも、シェル理論によって力学特

性を記述できる細胞が存在することを示しています。さらに、シェル理論を用いて解析することで、これまで区別して評価することが難しかった「細胞そのものの硬さ」と「細胞内部から細胞を押し広げる力（内部圧力）」を同時に評価することに成功しました。

この結果により、細胞の力学特性を単なる硬さとして捉えるだけでなく、その背景にある力学状態を考えることが可能になりました。では、動物細胞は何によってシェル構造を支えていたのでしょうか。研究グループが詳しく調べたところ、シェ尔的な力学応答を示した細胞では発達したアクチン骨格が観察されました。さらに、アクチン骨格を阻害するとシェ尔的な力学応答が失われました。この結果は、細胞膜直下のアクチン骨格が、動物細胞のシェ尔的な力学応答を支える重要な役割を果たしている可能性を示しています。

【今後の展開】

本研究は、細胞の硬さを単なる数値として評価するだけでなく、その背景にある細胞骨格構造や内部圧力の寄与を考えるための新しい視点を提供するものです。

今後は、より多様な細胞種に本手法を適用することで、どのような細胞がシェル構造として振る舞うのかを明らかにするとともに、細胞骨格構造と機械的特性の関係解明を進めることが期待されます。本研究で得られた知見は、細胞がどのように形を維持し、外部環境からの力に応答しているのかを理解するための新たな手掛かりとなり、細胞力学研究のさらなる発展につながることを期待されます。

【用語解説】

注1 細胞壁

植物細胞の細胞膜の外側に存在する力学的に強固な構造。細胞内圧力を受け止めることで細胞の形を維持し、植物体を支える役割を担う。一方、動物細胞は細胞壁を持たない。

注2 細胞膜

細胞の最も外側を覆う薄い膜。細胞内部と外部を隔てる境界として働き、物質の出入りを調節する役割を持つ。

注3 細胞骨格

細胞内部に張り巡らされたタンパク質のネットワーク。細胞の形を維持するだけでなく、細胞運動や細胞分裂などにも重要な役割を果たす。本研究では、細胞膜直下に存在するアクチン骨格がシェ尔的な力学応答に関与している可能性が示された。

注4 弾性シェル理論 (Elastic Shell Theory : EST)

建築学や機械工学で用いられる理論の一つ。薄い板や殻（シェル）に力を加えたときに、どのように変形するかを予測することができる。植物細胞では細胞壁をシェルとして扱うことで、細胞壁の硬さと細胞内圧力を同時に評価することができる。本研究では、この理論を動物細胞に適用できるかを検証した。

注5 原子間力顕微鏡 (AFM : Atomic Force Microscope)

微細な板バネ（カンチレバー）の先端を試料に接触させ、そのたわみをレーザーで検出する装置。ナノメートル（ナノは10億分の1）スケールの表面形状を観察できるほか、試料を押したときの反力を測定することで硬さなどの力学特性を評価できる。本研究では、細胞の形状測定と力学測定の両方に用いた。

【掲載論文】

タイトル : Simultaneous quantification of cell elasticity and internal pressure in adherent animal cells

著者 : Emi Kurnia Sari, Yuka Tsurii, Naomi Tanga, Yuki Yamasaki, Reo Namura, Jun Muto, Kazunori Okano, Yoichiro Hosokawa

掲載誌 : Biophysical Journal

DOI : 10.1016/j.bpj.2026.06.009

【お問い合わせ先】

<研究に関すること>

奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科附属メディルクス研究センター

教授 細川 陽一郎

TEL : 0743-72-8961 E-mail : hosokawa@ms.naist.jp

研究室紹介ホームページ : <https://bpe.naist.jp>

<報道に関すること>

奈良先端科学技術大学院大学 企画総務課 渉外企画係

TEL : 0743-72-5112 FAX : 0743-72-5011 E-mail : s-kikaku@ad.naist.jp